

12

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

②① Anmeldenummer: 88117026.0

⑤ Int. Cl.⁴: G05D 13/62, H02P 5/16

② Anmeldetag: 13.10.88

③ Priorität: 26.10.87 DE 3736214

④³ Veröffentlichungstag der Anmeldung:
03.05.89 Patentblatt 89/18

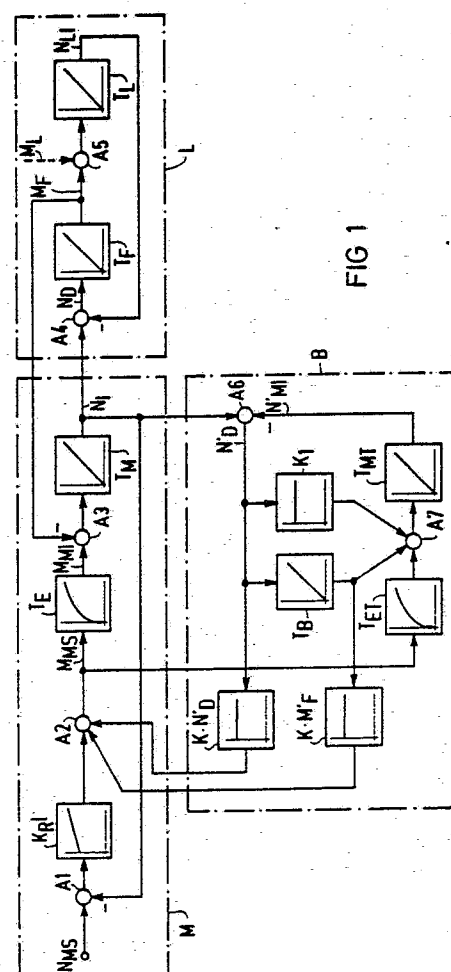
Ⓔ Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB IT NL SE

71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
Berlin und München Wittelsbacherplatz 2
D-8000 München 2(DE)

**(72) Erfinder: Papiernik, Wolfgang, Dr.
Eskiltunastrasse 9
D-8520 Erlangen(DE)
Erfinder: Tröndle, Hans-Peter, Dr.
Südhang 14
D-8550 Forchheim/Kersbach(DE)**

54 Verfahren zur Erfassung und Regelung eines Federmoments sowie einer Differenzdrehzahl bei rotatorisch angetriebenen Zwei-Massen-Systemen.

57) Bei einem Verfahren zur Erfassung und Regelung eines Federmoments sowie einer Differenzdrehzahl bei rotatorisch angetriebenen Systemen, deren Antriebseinheit sich wie ein elastisch gekoppeltes Zwei-Massen-System auffassen läßt, wird das Federmoment (M_F) sowie die Differenzdrehzahl (N_D) ohne direktes Messen der tatsächlichen Lastdrehzahl (N_L) bzw. Lastlage, durch Vergleich der vom Federmoment (M_F) beeinflussten Motor-Istdrehzahl (N_I) und einer simulierten Motor-Istdrehzahl (N'_{MI}) bestimmt. Die so gewonnene Differenzdrehzahl (N'_D), sowie das Federmoment (M'_F) sind direkt proportional zur tatsächlichen Differenzdrehzahl (N_D) sowie zum tatsächlichen Federmoment (M_F) und können der Regelstrecke des Motors (M) zur Regelung der Eigenschwingungen des Systems zugeführt werden.



Verfahren zur Erfassung und Regelung eines Federmoments sowie einer Differenzdrehzahl bei rotatorisch angetriebenen Zwei-Massen-Systemen

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Erfassung und Regelung eines Federmoments sowie einer Differenzdrehzahl bei rotatorisch angetriebenen Systemen, wobei die gesamte Antriebseinheit wie ein elastisch gekoppeltes Zwei-Massen-System wirkt.

Wellen oder Achsen von rotatorisch angetriebenen Systemen sind Torsionsspannungen ausgesetzt, die aufgrund der nicht ideal starren Materialeigenschaften der Welle oder Achse zu elastischen Verformungen führen. Physikalisch läßt sich die Antriebseinheit wie zwei, ideal starre Massen betrachten, die durch eine Feder verbunden sind. Dabei kann die eine Masse als träge Masse des Motors, die andere als träge Masse der Last aufgefaßt werden. Eine solche Antriebseinheit führt Eigenschwingungen aus, die einerseits die Regelung eines jeweiligen Systems, beispielsweise einer Werkzeugmaschine oder eines Roboters, negativ beeinflussen andererseits das betroffene Material stark beanspruchen.

Bei bestimmten Systemen, wie beispielsweise bei handelsüblichen Werkzeugmaschinen, bei denen die jeweilige Last entweder rotatorisch oder linear bewegt wird, ist es möglich, durch jeweils einen Meßgeber am Motor sowie einen Meßgeber an der Last eine Differenzdrehzahl oder eine Differenzlage der Lastwelle bzw. der Motorwelle zu messen. Da die Meßgeber an der Motorwelle bei geregelten Systemen immer vorhanden sind, werden für diese Art der Regelung eines Federmoments bzw. einer Differenzdrehzahl noch zusätzliche Meßgeber an der Lastwelle benötigt. Diese Maßnahme ist jedoch sehr kostenintensiv.

Oft ist es aber überhaupt nicht möglich, ein direktes Meßsystem an der Last anzubringen, so z.B. bei Robotern, die ihre Hand, bzw. ihren Greifarm an jeden beliebigen Punkt eines vorgegebenen, dreidimensionalen Arbeitsraumes bewegen können.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren der eingangs genannten Art so auszugestalten, daß das auftretende Federmoment sowie die Differenzdrehzahl ohne direktes Messen der Lastdrehzahl bzw. der Lastlage bestimmbar sind.

Gemäß der Erfindung wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß das Federmoment sowie die Differenzdrehzahl zwischen der die träge Masse des Motors repräsentierenden ersten Masse der Antriebseinheit und der die träge Masse der Last repräsentierenden zweiten Masse der Antriebseinheit durch einen Beobachter bestimmbar und der Regelstrecke des gesamten Systems als Korrektur-

werte zuführbar sind, wobei der Beobachter Regelglieder zur Simulation der Motor-Istdrehzahl enthält, wobei die Differenzdrehzahl direkt aus der Differenz der simulierten Motordrehzahl mit der Istdrehzahl des Motors und das Federmoment aus der Integration der Differenzdrehzahl bestimmbar ist.

Eine erste Ausbildung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß ein Motor-Sollmoment durch einen PI-Regler und durch die Korrekturwerte vorgebbar ist, wobei ein auftretendes Lastmoment durch den I-Anteil des PI-Reglers kompensierbar ist. Durch diese einfache Maßnahme kann zusätzlich zur Regelung des Federmoments ein eventuell angreifendes Lastmoment kompensiert werden.

Die gesamte Regelstrecke kann aber auch so ausgebildet sein, daß das Motor-Sollmoment durch ein Proportionalglied und durch die Korrekturwerte vorgebbar ist, wobei ein auftretendes Lastmoment durch Integration einer Drehzahldifferenz kompensierbar ist, wobei die Drehzahldifferenz aus dem Vergleich einer, durch Nachbildung der gesamten Regelstrecke einschließlich des Beobachters erzeugbaren theoretischen Motordrehzahl, sowie der Motor-Istdrehzahl bestimmbar ist. Diese Maßnahme zur Ausregelung des Lastmomentes ist besonders dann vorteilhaft, wenn eine höhere Regelgeschwindigkeit erzielt werden soll, da durch diese Maßnahme das Zeitverhalten der Regelstrecke etwa um den Faktor 2 gegenüber einem PI-Regler verbessert wird.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird im folgenden näher erläutert. Dabei zeigen:

FIG 1 einen Signalflußplan einer verfahrensgemäßen Regelstrecke mit einem PI-Regler zur Kompensation eines Lastmoments und

FIG 2 einen Signalflußplan einer verfahrensgemäßen Regelstrecke mit einer Streckennachbildung zur Kompensation des Lastmoments.

Im Signalflußplan gemäß FIG 1 und FIG 2 ist die Richtung des jeweiligen Signalflusses durch Pfeile angedeutet. Zur Kennzeichnung der wirkungsmäßigen Abhängigkeit des jeweiligen Ausgangssignals vom Eingangssignal ist in jeden Block des Signalflußplanes die jeweilige Übergangsfunktion eingezeichnet. Außerdem sind die jeweiligen Blöcke mit ihren charakteristischen Konstanten bzw. Zeitkonstanten bezeichnet. Diese Konstanten bzw. Zeitkonstanten werden im folgenden auch als Bezugszeichen verwendet.

Die Darstellung gemäß FIG 1 zeigt einen Si-

gnalflußplan einer verfahrensgemäßen Regelstrecke mit einem PI-Regler $K_{R,I}$ zur Kompensation eines Lastmoments. Der Signalflußplan ist jeweils durch gestrichelte Linien in den Regelkreis M einer Motorwelle, welcher die träge Masse des Motors, den Regelkreis L einer Lastwelle, welcher die träge Masse der Last repräsentiert, sowie den Regelkreis B eines Beobachters aufgeteilt.

Die Motorwelle sowie die Lastwelle besteht im einfachsten Fall, beispielsweise bei einer Werkzeugmaschine, aus einer Achse, die durch einen Motor angetrieben wird und die mit einer Last, beispielsweise in Form eines Fräskopfes, beaufschlagt ist. Die entsprechende mechanische Ausgestaltung ist durch das jeweilige System (Werkzeugmaschine, Roboter, etc.) vorgegeben. Auf eine beispielhafte Darstellung ist daher verzichtet worden. Eine solche Antriebswelle stellt eine Antriebseinheit dar, die sich gedanklich in zwei voneinander getrennte Massen, die Motorwelle und die Lastwelle, trennen läßt, wobei beide Massen ideell durch eine Feder verbunden sind. Dabei wird die träge Masse der Motorwelle sowie die träge Masse der Lastwelle als ideal starr angesehen und die beide Massen verbindende Feder repräsentiert die Elastizität der realen, nicht ideal starren Welle.

Wird dem Regelkreis M der Motorwelle eine Solldrehzahl N_{MS} vorgegeben, so wird dem Motor über den Regler $K_{R,I}$ ein Motor-Sollmoment M_{MS} zugeführt. Entsprechend der Motorcharakteristik resultiert daraus ein Motor-Istmoment M_{MI} , das zu einer Drehbewegung des Motors führt. Bedingt durch die Elastizität der Antriebswelle wirkt dem Motor-Istmoment M_{MI} das Federmoment M_F , wie am Addierglied A3 gezeigt, entgegen. Am Ausgang des Integriergliedes T_M läßt sich dann eine dem resultierenden Antriebsmoment entsprechende Ist-Drehzahl N_I der Motorwelle abgreifen. Diese Ist-Drehzahl N_I der Motorwelle ist jedoch nicht identisch mit der Ist-Drehzahl der Lastwelle N_L . Bleibt man bei der physikalischen Betrachtungsweise von zwei starren Massen und einer diese verbindenden Feder, so wird sich beim Anlaufen des Motors zunächst die Feder spannen und erst dann würde sich zeit- und lageverzögert die Lastwelle L mitdrehen.

Der Regelkreis L der Lastwelle ist ein physikalisches Modell, das der zweiten Masse des Zwei-Massen-System-Modells entspricht. Angenommen, man könnte die tatsächliche Istdrehzahl der Lastwelle N_L messen, so könnte man diese am Addierer A4 von der Ist-Drehzahl des Motors N_I subtrahieren. Zwischen der resultierenden Differenzdrehzahl N_D und dem Federmoment M_F besteht ein integraler Zusammenhang, so daß das Federmoment M_F über das Integrierglied T_F ermittelt werden könnte. Aus den in der Beschreibungseinleitung genannten Gründen soll aber gerade auf eine

solche Messung der Ist-Drehzahl N_L der Lastwelle verzichtet werden.

Deshalb wird im Regelkreis B des Beobachters die Motorcharakteristik mittels eines Regelgliedes T_{ET} nachgebildet, so daß durch das Integrierglied T_{MT} die Istdrehzahl des Motors N'_{MI} simulierbar ist. Am Addierer A6 kann damit die vom Meßgeber des Motors abgreifbare Istdrehzahl N_I mit der simulierten Istdrehzahl N'_{MI} verglichen werden.

Liegt am Addierer A3 des Regelkreises M der Motorwelle ein Federmoment M_F an, so ergibt sich am Addierer A6 eine Regeldifferenz N'_D zwischen der tatsächlichen, jetzt durch das Federmoment M_F beeinflussten Istdrehzahl N_I des Motors und der simulierten, vom Federmoment M_F noch nicht beeinflussten Istdrehzahl N'_{MI} .

Der aus dem Integrator T_B und dem Proportionalglied K_I bestehende PI-Regler wirkt über den Addierer A7 solange auf die Regelstrecke zur Simulation der Motordrehzahl N'_{MI} ein, bis die Regeldifferenz N'_D am Addierer A6 zu Null wird.

Ist im eingeschwungenen Zustand die Regeldifferenz N'_D am Addierer A6 gleich Null, so ist ersichtlich, daß die vom Integrierglied T_B auf den Addierer A7 gegebene Größe genau der Größe M'_F entspricht, die im Regelkreis M der Motorwelle am Addierer A3 angreift, also dem Federmoment M_F .

Macht man noch die Ersatzzeitkonstante des Regelkreises B des Beobachters wesentlich kleiner als die Periode der Schwingung des Feder-Massen-Systems, so erscheint am Ausgang des Integriergliedes T_B auch dynamisch das Federmoment M'_F und zwar mit der Ersatzzeitkonstanten des Regelkreises B des Beobachters geglättet.

Wie im Regelkreis L der Lastwelle erkennbar ist, ergibt sich das Federmoment M'_F aus dem Integral über die Differenzdrehzahl N_D , die zwischen der trägen Masse des Motors und der trägen Masse der Last besteht.

Da auch das Federmoment M'_F aus einer Integration durch das Integrierglied T_B im Regelkreis B hervorgeht, ist das Eingangssignal des Integriergliedes T_B , also die Regelabweichung N'_D , die am Addierer A6 gebildet wird, direkt proportional zur Differenzdrehzahl N_D .

Die somit über den Beobachter B abgreifbare Differenzdrehzahl N'_D sowie das Federmoment M'_F werden dann jeweils mit einem konstanten Faktor K multipliziert über den Addierer A2 auf die Regelstrecke M der Motorwelle gegeben, so daß damit die Eigenschwingung des Feder-Massen-Systems geregelt werden kann.

Wirkt zusätzlich zum Federmoment M_F ein Lastmoment M_L , wie im Regelkreis L der Lastwelle durch eine gestrichelte Wirkungslinie die zum Addierer A5 führt, gezeigt ist, so kann diese durch den I-Anteil eines PI-Reglers $K_{R,I}$ im Regelkreis der Motorwelle M kompensiert werden.

Das Lastmoment kann aber auch wie in der Darstellung gemäß FIG 2 gezeigt, kompensiert werden. Die Darstellung gemäß FIG 2 unterscheidet sich dabei von der gemäß FIG 1 dadurch, daß zusätzlich ein Regelkreis F vorgesehen ist und daß der PI-Regler $K_{R,I}$ im Regelkreis M der Motorwelle durch ein Proportionalregelglied K_R ersetzt worden ist.

Durch das Regelglied T_{EG} im Regelkreis F wird die gesamte Regelstrecke, die aus dem Regelkreis M der Motorwelle sowie aus dem Regelkreis L der Lastwelle und aus dem Regelkreis B des Beobachters besteht, nachgebildet und eine theoretische Motordrehzahl N_{MT} simuliert. Durch diese theoretische Motordrehzahl N_{MT} ist bereits das Federmoment M_F sowie die Differenzdrehzahl N_D berücksichtigt und Am Addierer A8 wird diese theoretische Motordrehzahl N_{MT} mit der tatsächlichen Motordrehzahl N_i verglichen. Ergibt sich eine Regelabweichung also eine Differenzdrehzahl N''_D , so kann daraus über ein Integrierglied T_I eine dem Lastmoment proportionale Größe M'_L stationär bestimmt und der Regelstrecke M der Motorwelle über den Addierer A2 zur Kompensation zugeführt werden.

Lastmoment (M_L) durch Integration einer Drehzahl-differenz (N''_D) kompensierbar ist, wobei die Drehzahl-differenz (N''_D) aus dem Vergleich einer, durch Nachbildung der gesamten Regelstrecke (M, L) einschließlich des Beobachters (B) erzeugbaren, theoretischen Motordrehzahl (N_{MT}), sowie der Motor-Istdrehzahl (N_i) bestimmbar ist.

Ansprüche

1. Verfahren zur Erfassung und Regelung eines Federmoments sowie einer Differenzdrehzahl bei rotatorisch angetriebenen Systemen, wobei die gesamte Antriebseinheit wie ein elastisch gekoppeltes Zwei-Massen-System wirkt, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Federmoment (M_F) sowie die Differenzdrehzahl (N_D) zwischen der die träge Masse des Motors repräsentierenden ersten Masse der Antriebseinheit und der die träge Masse der Last repräsentierenden zweiten Masse der Antriebseinheit durch einen Beobachter (B) bestimmbar und der Regelstrecke des gesamten Systems als Korrekturwerte (N'_D , M'_F) zuführbar sind, wobei der Beobachter (B) Regelglieder zur Simulation der Motor-Istdrehzahl (N_{MI}) enthält, wobei die Differenzdrehzahl (N'_D) direkt aus der Differenz der simulierten Motordrehzahl (N'_{MI}) mit der Istdrehzahl (N_i) des Motors und das Federmoment (M'_F) aus der Integration der Differenzdrehzahl (N'_D), bestimmbar ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Motor-Sollmoment (M_{MS}) durch einen PI-Regler ($K_{R,I}$) und durch die Korrekturwerte vorgebar ist, wobei ein auftretendes Lastmoment (M_L) durch den I-Anteil des PI-Reglers ($K_{R,I}$) kompensierbar ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Motor-Sollmoment (M_{MS}) durch ein Proportionalglied (K_R) und durch die Korrekturwerte vorgebar ist, wobei ein auftretendes

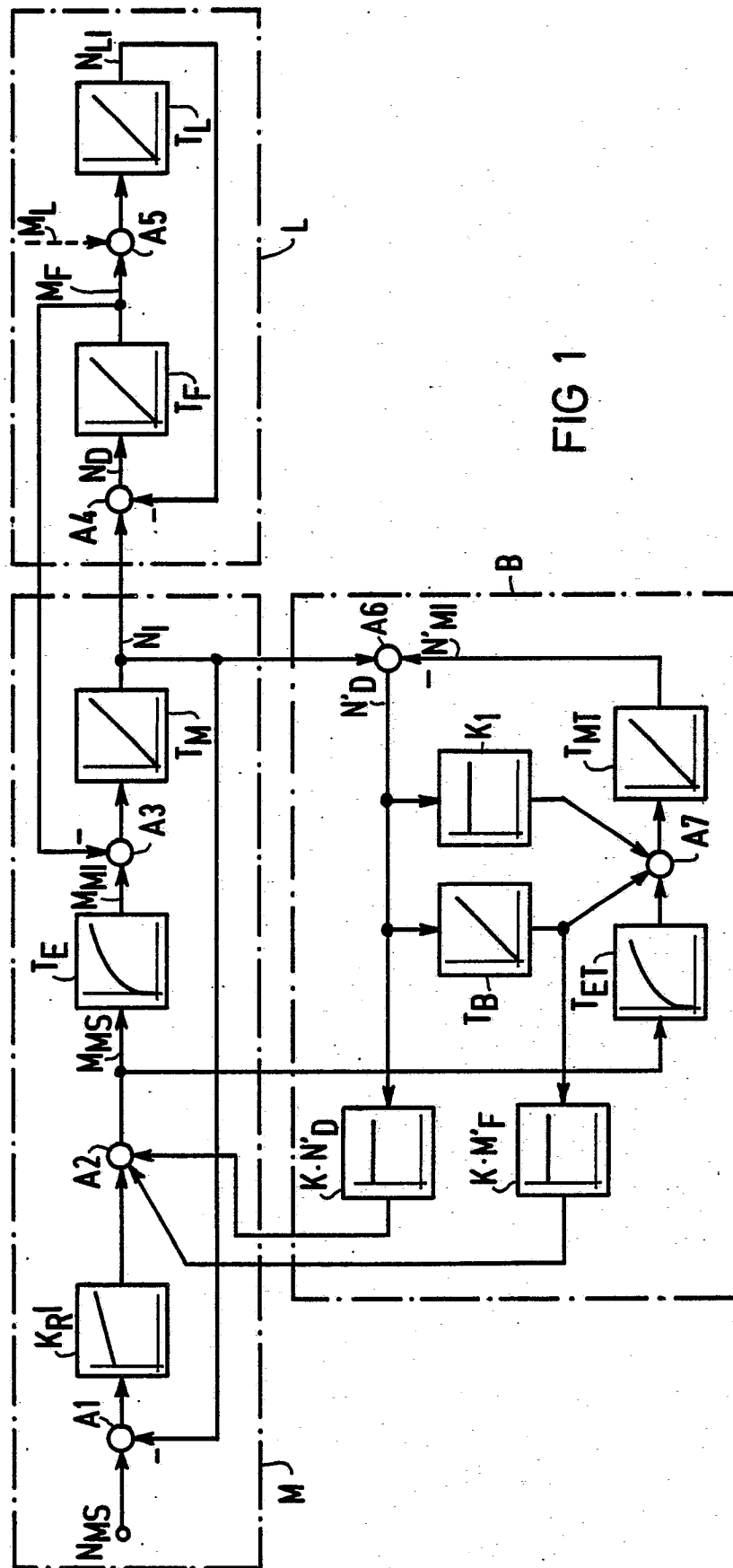


FIG 1

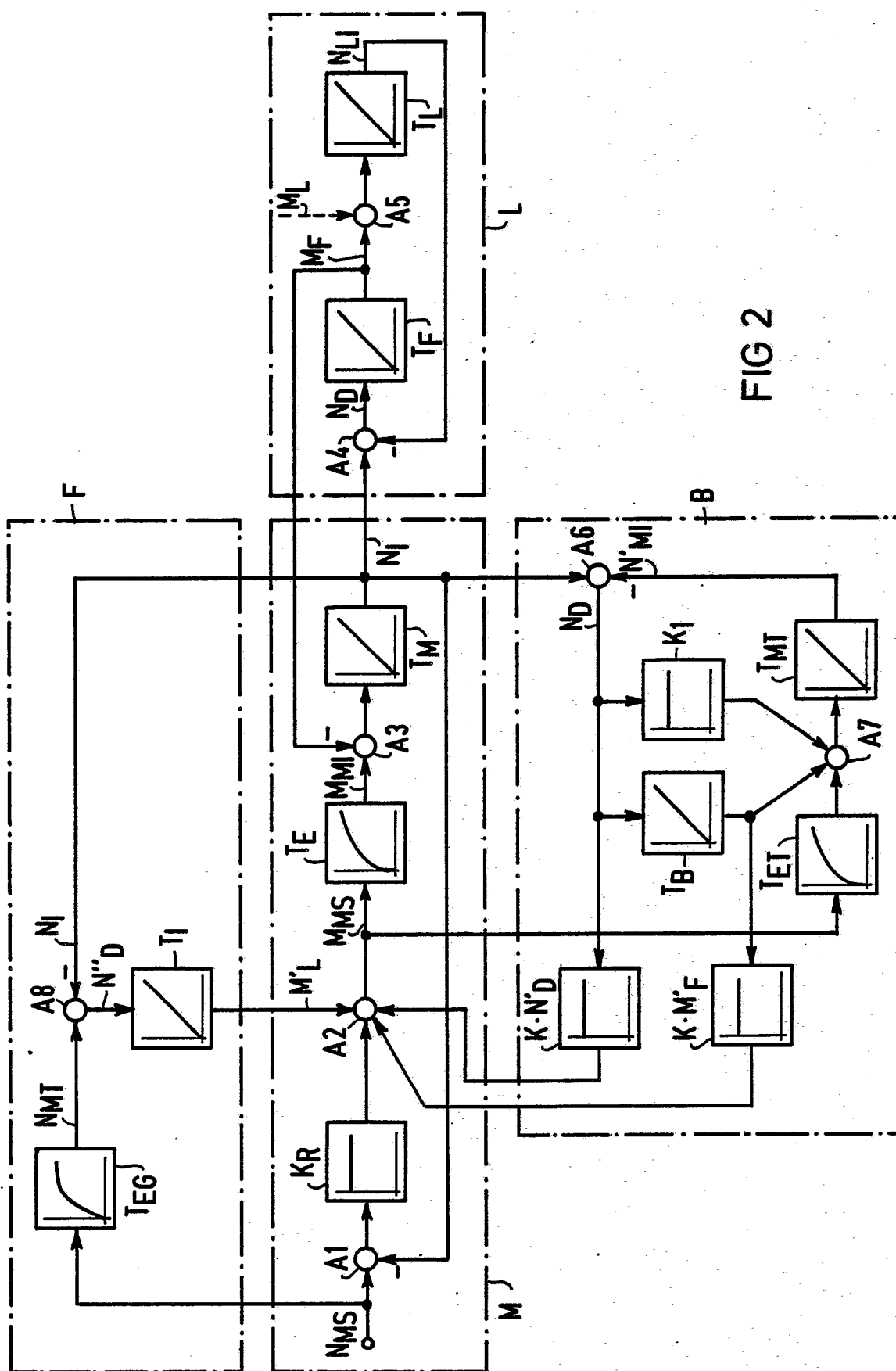


FIG 2



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 88 11 7026

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.4)
X	REGELUNGSTECHNIK vol. 26, no. 11, November 1978, MUNCHEN G.WEHRICH: "DREHZAHNREGELUNG VON GS-ANTRIEBEN UNTER VERWENDUNG EINES ZUSTANDS-UND STOERGROESSEN-BEOBACHTERS" * Seite 350 - 351; Figuren 1, 2 *	1	G05D13/62 H02P5/16
A	-----	2,3	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.4)
			G05D H02P
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 7 JANUAR 1989	
		Prüfer GOETZ P.A.	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			
T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			